

太陽系指導のための観測資料とその使い方の一例

吉 田 専 一

1 はじめに

今までの中学校における、太陽系の構造の指導は、教師の一方的な説明だけで終りがちであった。これは、この教材についての研究が、従来あまりなされていなかったためと考えられる。しかし、これらの理科指導においては、太陽系の構造を指導する場合、最初から知識として地動説を一方的に与えるのではなく、生徒が観測によって得られたいろいろな資料や、その他の資料をもとにして、太陽系の構造がどのようになっているかを、生徒自身に考えさせていく方法がたいせつであると考えられる。

中学生自身や教師、あるいはクラブ活動などの観察や観測の資料を使って、太陽系の構造を中学生に考えさせるためには、四季の星座の変化と、惑星の運動についての資料が重要な手がかりになる。たとえば、太陽と惑星の離角の変化のしかたは、内惑星と外惑星の区別をする上で特に重要な資料を提供するものと考えられる。このような観点から、太陽と惑星の離角の変化の測定法、星座中における、太陽と惑星の位置の測定法について若干のくふうを試みたので報告する。

2 太陽と惑星の離角、および星座中の位置の測定について

太陽と惑星の離角の変化や、星座中の運行を知るためには、太陽や惑星の離角、星座中の位置を求める方法がわからなければならない。しかし、外惑星のように星座中で直接、位置を知ることのできる場合以外には、太陽や惑星の位置の求めかたや、離角の測定方法はあまり考えられていない。以下、これらの観測方法を条件別に検討してみたい。

(1) 暗くなつてから、星座の中に惑星が見える場合

太陽と内惑星の離角は、惑星が太陽からあまり離れないので、比較的考え易い。しかし、外惑星の場合は 180° まで離れるので考えにくい。このような場合は、見えている外惑星と、既に沈んでしまった太陽の位置を想定して離角を考えなければならない。

i) 惑星の位置の観察

わかり易い星座、目立つ並びかたをした星との相対的な位置関係をスケッチする。

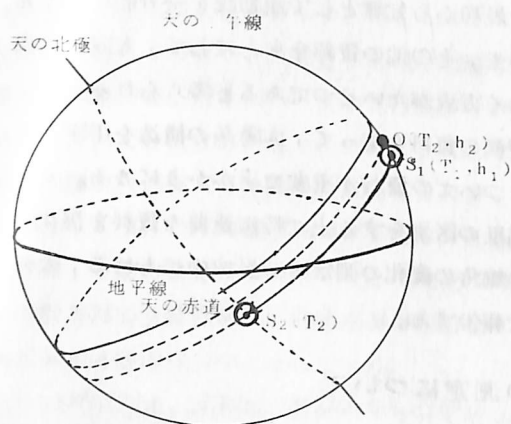
ii) 星座中における太陽の位置の測定

太陽が星座中のどの位置にあるかということを知ることは、i) のようにして直接観測することはできない。しかし、太陽も恒星も 1 日たてば、大体もとの位置にもどるという事実に着目すれば、太陽と星座の相対的な位置関係を、ごく大まかにつかむことはできる。図-1 において、太陽が S_1 の位置で南中し、その時の時刻 T_1 と高度 h_1 が測定されたとする。やがて太陽が沈み S_2 にきたときに、南中している恒星 O を観測し、時刻 T_2 高度 h_2 が得られたとする。この時の高度差 $h_2 - h_1$ は赤緯の差に相当する。時刻の差 $T_2 - T_1$ は、太陽が O の位置より西へ赤経で $T_2 - T_1$ だけ移動したところにあることを示す。これらのことから、恒星の赤経、赤緯より、南中時刻の差、高度差をひけば太陽の赤経、赤緯がわかる。

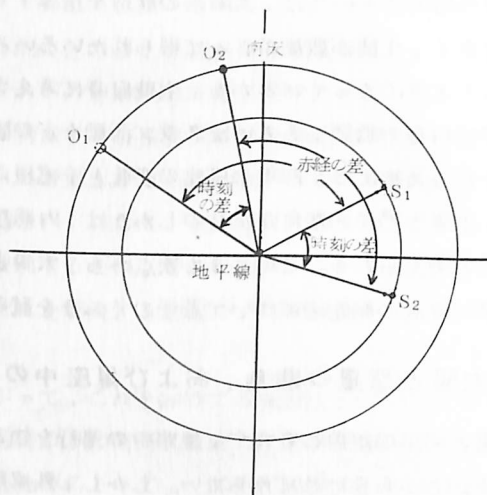
なお、この方法はいきなり使うよりも、たとえば、2つのわかり易い星座、または、明るい星が南中する時刻と、その時の高度を測らせ、これを天球儀や星図と比較し、時間の差が赤経の差に、高度の差が赤緯の差にほぼ同じであることを理解させてからにするなどの配慮が必要である。

iii) 太陽と惑星の離角の測定

上述の方法によって、太陽および惑星の位置がわかれば、これらの位置を天球儀の上に記入し、2天体の最短距離の長さを、ひもなどで測り、これを天球儀の赤緯の線に合わせて離角を求める。



(図-1)



(図-2)

(2) 日没後しばらくの間は見えるが、暗くなつて星座が見え始める頃には沈む惑星の場合

i) 惑星の位置の観測 (図-2)

天球は、北極星を中心にして日周運動をしている。したがって、日没後、地平線近くに見えていた惑星 S_1 は、時間がたつと、もし空が暗ければいっしょに見えるはずの、背景の星座とともに沈んでいく。やがて、空が暗くなり恒星 O_2 が見えはじめる。恒星 O_2 は、日没直後、惑星が S_1 の位置に見えていた頃にはどこにあったかを推測するには、恒星の観測時刻と惑星の観測時刻の差のぶんだけ、天球を逆回転させて考えればよい。いいかえれば、観測の対象となった恒星を天球儀の上でさがし、この星の方位と高度が、観測値と等しくなるように天球の位置を定めた後に、天球を惑星の観測をしている状態まで、時間の経過ぶんだけ逆に回転させれば、その時刻に観測された惑星の方位と高度のあたりにある星座が、惑星の背景となっている星座を示す。

ii) 太陽の位置の観測

太陽の位置は(i) ii)の方法によって観測できる。また任意の方位にある太陽および恒星の場合は、(2) i)の方法によって求められる。

iii) 太陽と惑星の離角の測定

星座中における太陽および惑星の位置がわかっている場合は(i) iii)の方法で求められる。もし、太陽および惑星の位置がわからなくても、次に述べる方法で、直接求めることができる。

a) 日没時刻、および惑星の沈む時刻の差を測定すれば、離角の変化およびその傾向を知ることができる。この方法は、特に観測器具を必要としないので、長期間の観測に適している。

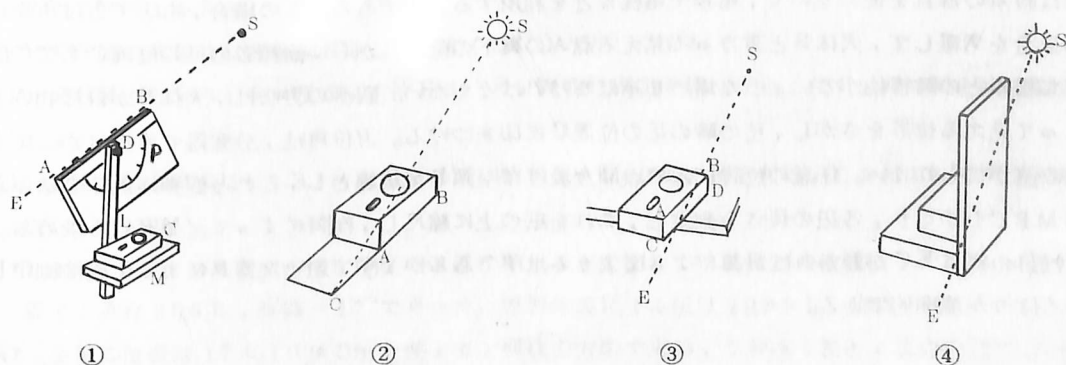
b) 日中、太陽の方位と高度の変化を調べ、これより、太陽の日周運動の軌跡を求める。惑星が見え始めたら、この惑星の方位、高度を調べる。次に、太陽の日周運動の軌跡を延長し、惑星を観測した時刻の太陽の位置を求める。この太陽の位置と惑星の位置の最短距離を、ひもなどで測り、これを天球儀などの赤緯の線にあてて離角を求める。

3 方位、高度の観測について

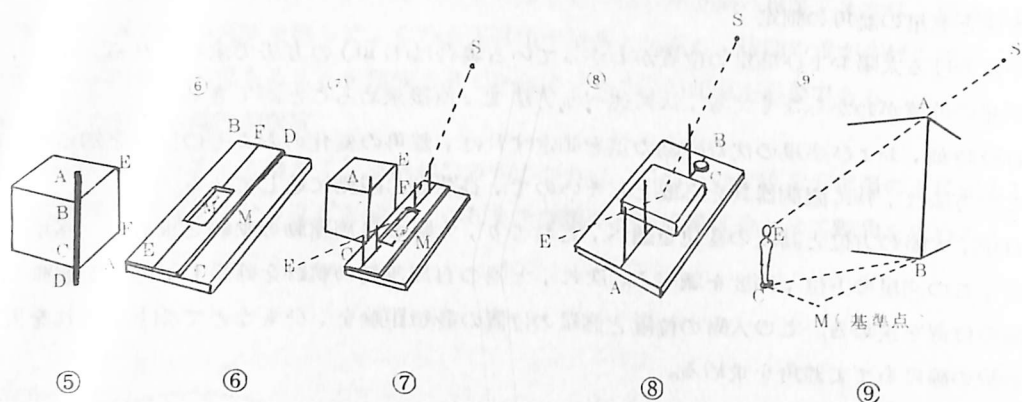
2で述べた観測方法の基礎となる、方位、高度の観測器具および観測方法について、いくつか試みた。

①は、方位、高度を測定するとき、測定器具をのせる台をさがしたり、台を水平にする手間を省き、いつでも手軽に観測できることを目的として作られたものである。これらは平らな板P（横36.5 cm、縦18 cm）に角度の目盛りを書きこみ、この目盛りの中心Dより棒Lをさげ、これがDを中心に自由に回転できるようにしておく。棒Lの下端には、板Mが棒Lと垂直になるようにとりつけてあり、この上にクリノメーターCまたは磁針をのせ、セロテープなどで固定する。観測の方法は、目Eから星Sへ向かう視線が板Pの上辺ABと一致するようにし、その時の方位はクリノメーターにより、高度は板Pに書きこまれた角度目盛りから読みとる。

②は、クリノメーターまたは磁針を四角な台にとりつけたもので、方位を測る方法を示す。太陽の方位は、クリノメーターが、その一辺ABと、クリノメーターの陰の縁ACが一直線になるように調節して求める。星の方位は、星と目を結ぶ視線（③のES）が、クリノメーターの側面ABCD上にのるようにクリノメーターの向きを調節して、その時の方位を読みとる。この側面の面積は小さくて、正しい方位がきめにくいので④に示すL字型の台の上のせて、星に対するクリノメーターの位置が、少しでも簡単に合わせられるような方法も行なってみた。



(図-3 A)



(図-3 B)

⑤は、太陽の方位、高度を日陰曲線の原理を用いて測定し、星の方位は箱の側面BC EFが正しく星の方向へ向くようにして求めるように考えたものである。水平な台の上に穴をあけて、この穴の中へC Dの部分を入れ、この穴を中心に箱が回転できるようにしておく。太陽の方位、高度は棒ACの部分の陰によって測定する。星の方位は、⑥⑦に示す鏡Mを補助器具として用いる。この鏡には、厚紙AB CDをとりつけ、この厚紙の一辺ABを鏡の縁に一致させる。また、この厚紙には、ABと平行な直線EFをひき、この線上の一部分に適当な大きさの四角な穴M'をあけ、鏡がでるようにしておく(⑥)。観測の際には、直線EF上に針を数本垂直に立て、厚紙にあけてある四角な穴M'の部分の鏡で反射されてくる星の像と重なるように、鏡および箱の向きを調節する。

⑧は星の方位を調べる目的だけで作ったものである。これは厚紙に直線をひき、この上に小さな鏡をのせ、直線上には、数本の針をたてたものである。観測の際には、この直線上の一端を画鋸でとめ、この点を中心に厚紙が自由に回転できるようにする。星の方位は、星の像と垂直に立ててある針の像が重なって見える方向である。

方位の決定は、午前中からの観測が可能な場合は、日陰曲線をもとにして、真南を求め、ここを基準にして方位を決定する。午前中からの観測が不可能な場合は、クリノメーターまたは磁針を四角な台にとりつけたものを使って読みとり、偏角を差し引いて求める。

⑨は特別の器具を使わないで、建物や電柱などを利用する方法である。この場合、あとで方位角をはかる都合を考慮して、天体Sと重なって見える点Aの真下の位置Bから、観測者の足の位置Cまでの間に、垣根などの障害物がないような場所を選ばなければならない。観測の方法は、天体Sが目標物Aと重なって見える位置をさがし、その時の足の位置Cに印をつける。方位角は、分度器で直接はかっても正確な値が得られない。任意の位置に基準点Mを設けて、MBを基線とし、これと観測地点Cを結ぶ三角形MBCをつくり、各辺の長さを測定し、これを紙の上に縮尺し、作図によって $\angle MBC$ を求める。高度は目の高さECがわかれば計算によって求まるはずであるが、①で用いた器具によって直接測定しておくほうが能率的である。

4 観測の実例

2において述べた方法のうち(1) i)の方法は、すでによく使われている。また、(1) iii)の方法は星座中の天体の位置がわかっているならば、(2) iii) b)の最後の処理と同じ方法で測定できる。したがって、主として(1) ii), (2) i), (2) iii)の方法を検討した。

(1) 1969年2月11日の観測資料より 2(1) ii)の方法による

i) 太陽および恒星の南中時刻と高度を測定する。高度は図-3①によって測定した。

太陽: 11 h 58 m, 高度 38° オリオン座 β 星 19 h 35 m, 高度 44°

ii) 南中時刻の差 7.6 h 高度の差: 太陽は 6° 低い

iii) 星図を使って、オリオン座 β 星の位置(赤経 5.2 h, 赤緯 -8°)より 6° 低い位置を求め、ここからさらに、赤経の目盛りで 7.6 h 西へ移動した点に何座があるかをさがす。この位置は計算によっても求められる。この計算は、太陽赤経 = $5.2\text{ h} - 7.6\text{ h} = 21.6\text{ h}$, 赤緯 = $-8^\circ - 6^\circ = -14^\circ$ であり、理科年表による値(赤経 21.6 h, 赤緯 -14.5°)と一致する。

(2) 1969年1月30日の観測資料より

表は、図-3の⑤⑥によって示される観測器具によって得た値である。

A 2(2) iii) による方法

i) この値を天球儀または地球儀などの球面上に記録する。それには、天球儀などの極軸を垂直にして、天の赤道が地平線と重なるようにし、この上に、太陽と金星の位置を、観測によって得た方位、高度の値に従って、ゴム粘土などを使って、天球面上に記入する。

ii) 太陽の目周運動の軌跡を延長し、金星の観測時刻 17 h 10 m の太陽の位置を求める。

iii) 17 h 10 m の太陽と金星の間をひもで結び、この長さが赤緯の何度に相当するか調べる。この結果、離角は 46° であった。天文と気象(天文気象年鑑 1969年度版)による値は 47° であり、ほぼ一致した。

B 2(2) i) による方法

i) 天球儀の極軸の高度を観測地点の緯度(38°)と同じにする。

ii) 天球儀上のおうし座 α 星が、方位 $S 54^\circ E$, 高度 60° の位置にくるように、天球面を回転して合わせる。

iii) 太陽の観測時刻 16 h 31 m と恒星の観測時刻 18 h 00 m の差をだし、この差 1.5 h だけ天球を逆回転させる。

iv) 16 h 31 m の太陽の方位、高度の位置に粘土などで印をつける。この位置は、やぎ座 α 星の位置で、赤経 20.6 h, 赤緯 -17° であった。理科年表による値は 20.85 h, 赤緯 -17.8° であった。

◎ 金星の位置は 17 h 10 m の値を使って、同様の方法で求め、うお座 λ 星と κ 星の中間で、天の赤道(赤経 23.4 h, 赤緯 0°)にあるものと推定した。理科年表による値は、赤経 23.74 h,

表

観測の対象	観測時刻	方位	高度
太陽	11 h 22 m	S $6^\circ E$	33.9°
	11 58	0	34.4
	12 53	S $13^\circ W$	32.8
	13 28	24	29.6
	16 31	63	5
金星	17 10	47	40
おうし座 α 星	18 00	S $54^\circ E$	60

赤緯 -0.6° であった。

5 おわりに

生徒が観測した資料を使い、生徒自身の自由な発想によって、太陽系の構造を理解させることはできないものだろうか。それには、生徒自身の力でできる観測器具や方法について検討がなされなければならない。このような考えのもとに、いくつかの観測方法について検討してみた。しかし、これらの方法は、中学生自身の発想によって考えつくかどうか疑わしい。また、たとえ教師の指導によって行なったとしても、技術的な面、時間的な面からみて、むずかしい。これらの点については、今後さらに検討を加え、より使い易い、簡単な方法を考えていきたい。

観測日時	観測場所	観測者	観測結果
1980年10月10日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月11日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月12日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月13日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月14日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月15日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月16日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月17日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月18日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月19日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月20日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月21日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月22日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月23日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月24日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月25日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月26日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月27日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月28日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月29日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月30日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°
1980年10月31日	東京都立大	佐藤 隆	赤緯 -0.6°